



# DESERTIFICATION EN ZONE SOUDANO-SAHELIENNE (PAYS DOGON, MALI) ? APPORT DE LA CARTOGRAPHIE ET DU SUIVI DIACHRONIQUE DES PARCS AGROFORESTIERS PAR TELEDETECTION SATELLITAIRE ET AERIENNE

Aude Nuscia Taïbi, Natalia Muñoz, Aziz Ballouche, Benjamin Dolfo, Adrien Plassais

## ► To cite this version:

Aude Nuscia Taïbi, Natalia Muñoz, Aziz Ballouche, Benjamin Dolfo, Adrien Plassais. DESERTIFICATION EN ZONE SOUDANO-SAHELIENNE (PAYS DOGON, MALI) ? APPORT DE LA CARTOGRAPHIE ET DU SUIVI DIACHRONIQUE DES PARCS AGROFORESTIERS PAR TELEDETECTION SATELLITAIRE ET AERIENNE. 25e conférence cartographique internationale, Jul 2011, Paris, France. hal-01105201

**HAL Id: hal-01105201**

**<https://hal.science/hal-01105201>**

Submitted on 19 Jan 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**DESERTIFICATION EN ZONE SOUDANO-SAHELIENNE (PAYS DOGON, MALI) ? APPORT DE LA CARTOGRAPHIE ET DU SUIVI DIACHRONIQUE DES PARCS AGROFORESTIERS PAR TELEDETECTION SATELLITAIRE ET AERIENNE**

TAIBI A.N.(1), MUÑOZ N.(1), BALLOUCHE A.(2), DOLFO B.(1), PLASSAIS A.(1)

(1) LUNAM, Université Angers, ESO-Angers,, ANGERS, FRANCE ; (2) LUNAM, Université Angers, LEESA, ANGERS, FRANCE

**OBJECTIFS ET CONTEXTE**

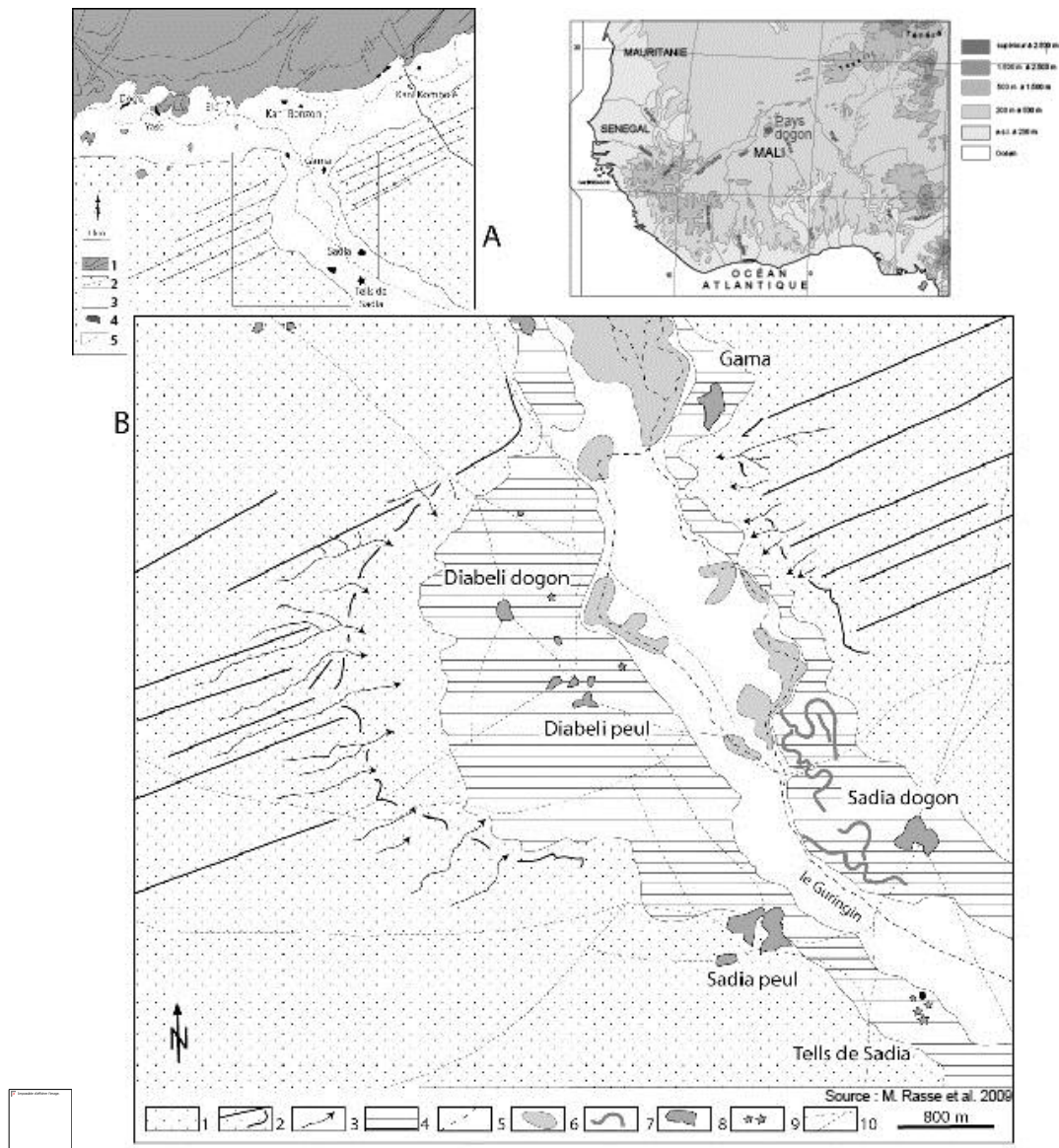
Les paysages végétaux du Pays dogon (Mali) en zone soudano-sahélienne correspondent presque partout à des parcs arborés à vocation agroforestière, fortement anthropisés par la sélection des arbres dans les champs.

Le site de plaine de Sadia étudié ici (fig 1) est caractérisé par une vallée de piémont (Guringin) drainant les écoulements saisonniers issus du plateau gréseux, dans une gouttière (dépression périphérique) parallèle à la « falaise » de Bandiagara et qui se perdent rapidement à l'aval dans les formations sableuses dunaires de la plaine du Séno. Les différents chenaux de crue, bordés par une ripisylve, sont incisés dans une basse terrasse dominée par une terrasse supérieure (Lespez et al 2009) passant à des formations sableuses organisées en dunes linéaires vers la « falaise » et simples épandages vers le sud-est. Cette transition géomorphologique marque aussi une limite entre deux types de parcs agroforestiers, peu dense en ligneux et principalement dédiés aux troupeaux transhumants peuls à proximité de la falaise et beaucoup plus densément boisés et voués avant tout aux cultures pluviales de mil et sorgho lorsqu'on s'en éloigne.

Ces parcs sont rarement monospécifiques avec des combinaisons variées des principales espèces *Faidherbia albida*, *Vitellaria paradoxa*, *Prosopis africana*, *Adansonia digitata*, *Sclerocarya birrea*, *Combretum glutinosum*, *Detarium microcarpum*, *Parkia biglobosa*, *Terminalia spp.*... Ils sont diversifiés pour plus de la moitié du peuplement, parfois avec une espèce principale ou prédominante, mais peuvent être aussi des parcs quasi-monospécifiques. Comme l'a montré H.J. Sturm (2000), cette typologie des parcs s'inscrit dans une dynamique génétique de parc résiduel, sélectionné ou construit.

Ces paysages végétaux sont soumis à de fortes pressions ces dernières décennies, sous l'impact de sécheresses, récurrentes, et de profondes mutations socio-économiques, et se transforment rapidement.

*Fig. 1. Localisation du site de Sadia*



Nous avons saisi ces évolutions à travers un suivi rétrospectif de la composante ligneuse des paysages de parcs agroforestiers depuis les années 50, basé sur la télédétection satellitaire et aérienne du site de Sadia dans la plaine du Séno (fig 1). Les traitements d'images combinent des approches orientées objets en complément des méthodologies classiques orientées pixels, ainsi que des méthodes automatiques et manuelles et visuelles d'extraction d'objets.

Si cet outil ne permet pas de distinguer les différents types de parcs par les espèces qui les constituent, il permet par contre d'en définir une typologie selon le nombre de ligneux et leur densité globale.

L'étude s'appuie également, en complément des traitements de télédétection, sur une prospection systématique du terrain et son objectif à terme est la construction d'un Atlas diachronique des paysages du Pays dogon.

Ces paysages de savanes du Pays dogon sont souvent abordés en termes de dégradation. La végétation fortement transformée par les activités humaines et les processus morphogéniques, marqués par une érosion localement exacerbée, y ont justifié l'utilisation des termes de dégradation, et même de désertification comme ailleurs en domaine soudano-sahélien. Pourtant, ces savanes sont des milieux complexes produits d'une confrontation continue et parfois millénaire entre des sociétés et leur environnement (Ballouche 2002).

Au-delà de ces discours déterministes et simplificateurs, notre objectif à travers ce suivi diachronique par télédétection, est de montrer que les paysages que nous observons aujourd'hui sont la manifestation des relations entre les hommes, avec leur culture, leur vécu, leurs savoir-faire, leurs pratiques, d'une part, et les formes, les potentialités et les contraintes de leur environnement, d'autre part. Loin d'être de simples héritages fossiles ou des reliques, ces paysages, fruit de l'histoire, sont vivants et conservent un rôle social

actif dans la société contemporaine, étroitement associés au mode de vie dit traditionnel et où le processus évolutif continue. Le paysage a donc une dimension culturelle et historique, mais exprime aussi de façon visible dans l'espace les dynamiques écologiques, sociales et économiques des territoires.

### **APPROCHE ET MÉTHODE**

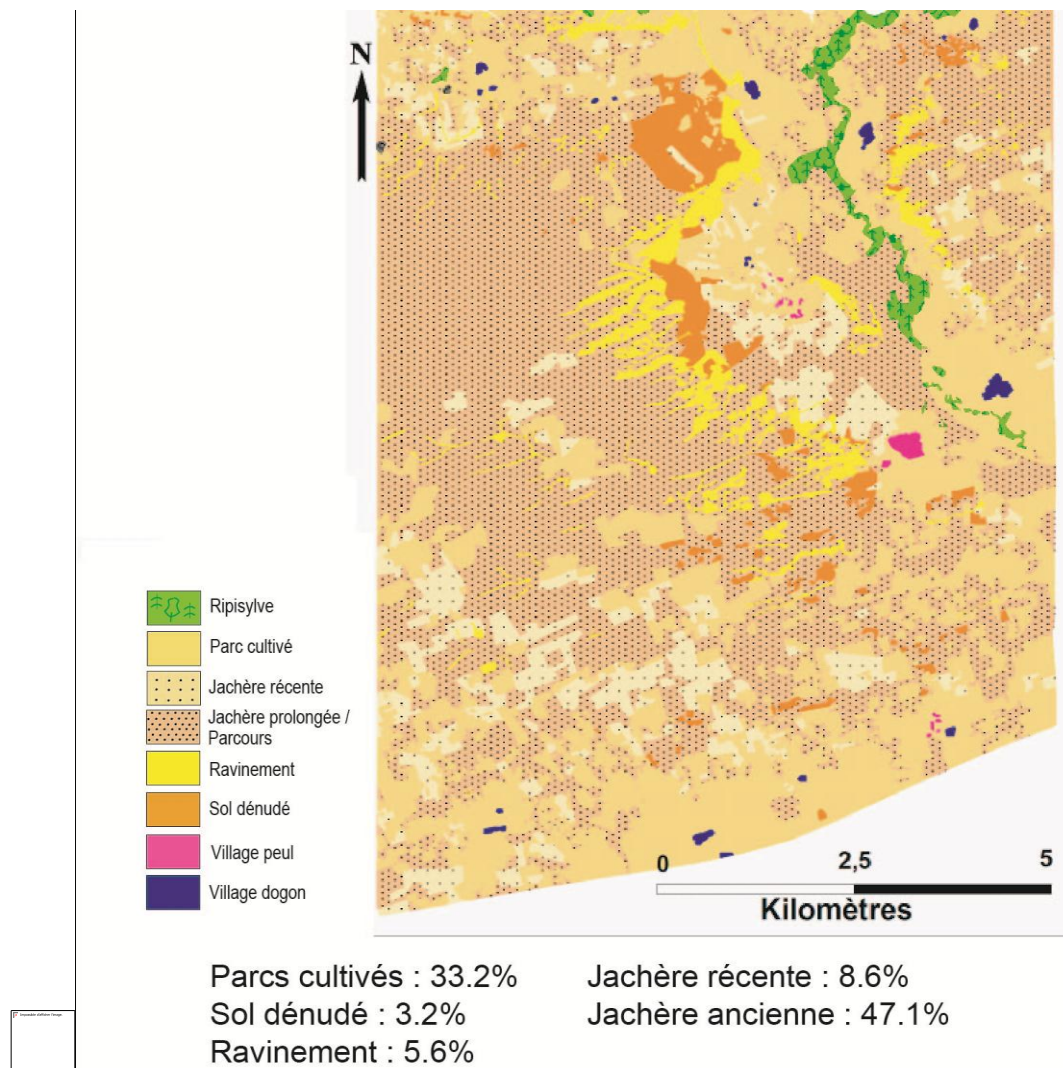
La caractérisation et le suivi diachronique des parcs agroforestiers du Pays dogon et leur composante ligneuse sont basés sur une image satellite Spot 5 (2.5m de résolution) du 13-09-2007 fournie par Planet Action , des images Quickbird du 21-11-2004 récupérées sur Google Earth, et une photo aérienne du 22-02-1952 en saison sèche (Mission AOF 020) au 1/50 000e.

La télédétection est aujourd'hui devenue le moyen le plus efficace pour l'acquisition de données sur les milieux et l'occupation des sols (Tanser & Palmer 1999) car elles fournissent une vision synoptique de vastes zones qui réduit temps et coûts de prospection terrain. Leur répétitivité à pas de temps variés en fait parfois le seul moyen pour caractériser des milieux et suivre leur évolution (Gillanders et alii 2008). Cet outil est notamment très utile voire indispensable dans les milieux difficiles d'accès comme dans la plupart des régions soudano-sahéliennes.

Les techniques de télédétection satellitaire pour la discrimination, la caractérisation et le suivi des paysages de ces milieux de savane sont pour l'essentiel basées sur des traitements spectraux comme les indices thématiques (NDVI) ou les classifications (Boggs 2010, Taïbi et alii 2005). Malgré les apports de ces traitements combinés, ils s'avèrent souvent insuffisants à discriminer de manière suffisamment fine les formations végétales de ces régions soudano-sahéliennes, en raison notamment de leur hétérogénéité puisque constituées par l'association en proportion variable de strates herbacée et arborée ou arbustive difficilement séparables par télédétection (Aman et al. 2001, Stuart et alii 2006). Ces traitements spectraux, notamment les indices de végétation, sont généralement mis en œuvre à partir d'images à faible résolution spatiale du type NOAA AVHRR (Mbow et alii 2004) où la composante arborée n'est pas discriminable. Les insuffisances de ces traitements tiennent au fait que toutes ces approches se basent sur des traitements orientés pixel qui négligent les éléments de photo-interprétation comme la texture, le contexte, la forme des objets constituant les unités paysagères. Les pixels ne sont pas de vrais objets géographiques et la reconnaissance d'entités spatiales comme des unités paysagères basée sur des approches pixels classique génère de nombreuses confusions entre objets (Hay et Castilla 2006). Nous avons donc mis en œuvre dans cette étude une approche orientée objet combinant deux méthodologies manuelle/visuelle et automatique d'extraction d'information et en avons comparé les résultats respectifs.

L'avantage de travailler avec des objets plutôt qu'avec des pixels est qu'en plus de caractéristiques spectrales, un objet possède des caractéristiques géométriques (longueur, périmètre...), topologique (position dans l'image et par rapport aux autres objets) et sémantiques (lié à sa signification) qui peuvent servir à son identification (Boggs 2010). Or ces éléments de forme, de texture, de contexte et les relations entre objets sont ceux qui permettent à l'opérateur humain de définir aisément des unités paysagères visuellement à partir de photos aériennes ou sur le terrain.

*Fig. 2. Occupation du sol en 2004*

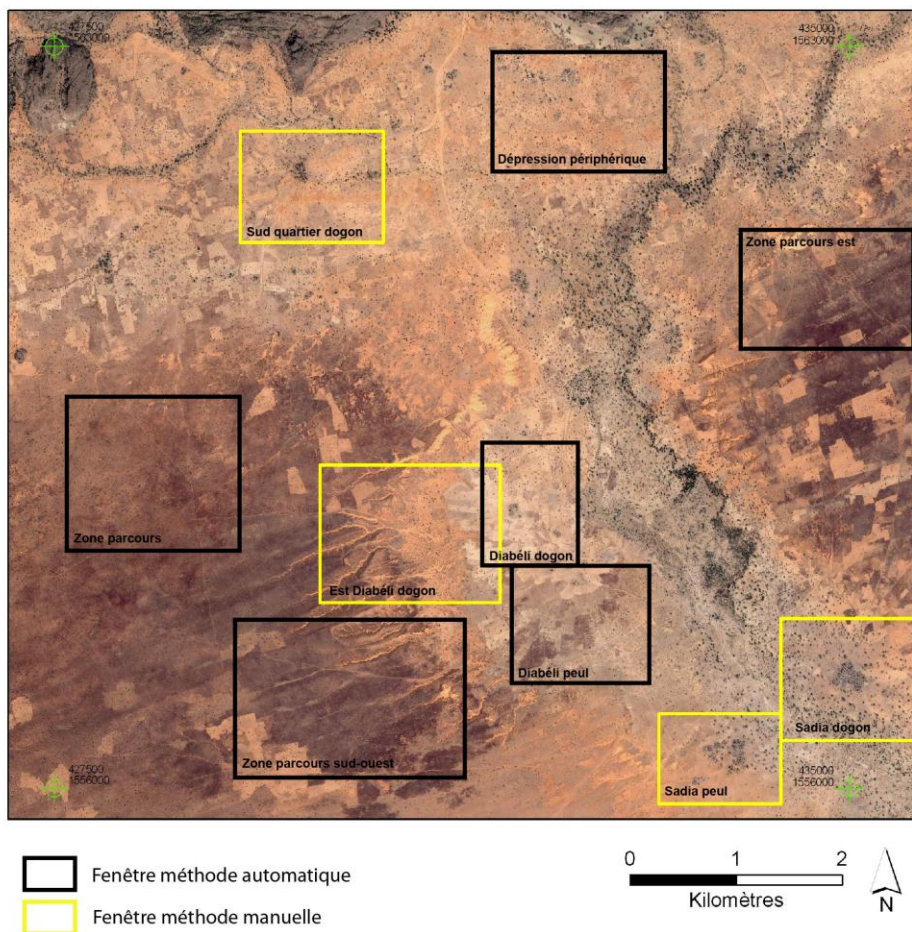


Toutes les données ont été géoréférencées en UTM 30N WGS 84. Les images Quickbird récupérées par imagerie de 2.7km de côté ont été préalablement mosaïquées. Bien que préférable, il n'a pas été possible d'orthorectifier les photos aériennes en raison de la qualité assez médiocre des cartes topographiques et surtout leur échelle (200 000e). Uniquement géoréférencées, de légers décalages subsistent entre la carte et les photos aériennes et avec les images satellites, particulièrement au contact plaine / plateau, mais ils sont sans incidence pour les zones de plaine et pour ce type de suivi diachronique ne nécessitant pas une superposition parfaite des objets, le suivi quantitatif portant uniquement sur le nombre de ligneux ou leur densité et pas sur leur position exacte.

Dans une première étape, les unités paysagères et d'occupation des sols ont été digitalisées visuellement sur l'ensemble de la zone en 2004 (fig 2) à partir des données Quickbird et sur quatre sites choisis sur la photo aérienne de 1952 (fig 3), permettant de distinguer les villages, la ripisylve, les zones ravinees et à dégradation du couvert végétal, et plusieurs classes d'occupation des sols selon l'ancienneté des cultures-jachère (Parcs cultivés de l'année, jachère récente, jachère prolongée/zone de parcours).

*Fig. 3 : Localisation des fenêtres de suivi des ligneux sur la zone de Sadia*





L'ensemble des ligneux a aussi été digitalisé visuellement sur toute la zone en 2004 et sur les quatre sites en 1952 (fig 3). Trois classes de ligneux ont été distinguées sur la base de la surface des houppiers; arbustes, petits arbres et grands arbres. Nous avons ensuite calculé la densité de ligneux sur une maille de 50m aux deux dates. Enfin, le nombre de ligneux et leur densité ont été reportés pour chaque classe d'occupation du sol.

Dans une deuxième étape, des traitements automatiques d'extraction des ligneux ont été appliqués sur ces images avec ENVI-Ex, toujours sur la base de leurs houppiers. Il s'agit de classifications orientées objet avec deux étapes de segmentation puis de classification proprement dite. Ces traitements orientés objets ont été appliqués de manière très interactive, en testant à l'écran les différents seuils et valeurs numériques requis aux différentes étapes. Il s'agissait d'utiliser ici uniquement les chaînes de traitements opératoires du logiciel pour extraire rapidement et de manière fiable l'information thématique recherchée.

En segmentant dans une première étape successivement l'image à différentes résolutions, on la divise en régions homogènes, les objets étant créés par croissance de régions, c'est-à-dire par fusion de pixels

adjacents après avoir fixé un paramètre d'échelle (critère d'hétérogénéité) (60 pour la photo aérienne avec un étirement gaussien et 30 pour les images Quickbird étirement linéaire). A ce stade (étape Merge d'ENVI-Ex) a été également défini interactivement un niveau d'échelle pour définir les limites des objets, à 90 pour les images Quickbird et à 50 pour la photo aérienne. Dans l'étape suivante, nous avons mis en œuvre des classifications par apprentissage aux résultats plus intéressants que la méthode par création de règles qui discriminait de manière très incomplète les houppiers. Pour cela, nous avons désigné interactivement à l'écran les différents objets (segments) ciblés (les houppiers) et ceux que nous voulions « éliminer » (le « fond » des champs, villages ...). Puis nous avons choisi les attributs les plus pertinents pour identifier ces objets et sur la base desquels la classification est effectivement réalisée, les segments similaires étant associés dans la même classe. Bien que l'on puisse désigner les attributs directement nous avons préféré la méthode de sélection automatique des paramètres les plus pertinents, aux résultats plus intéressants. L'algorithme de classification appliqué a été le SVM (Machines à Vecteurs de Support) spécialement adapté pour prendre en compte un grand nombre de paramètres non forcément homogènes, avec un Kernel de type linéaire. Ces paramètres, après exportation en polygones distincts des objets de la classe thématique regroupant les houppiers, ainsi que leurs valeurs attributaires de périmètre et superficie calculées précédemment aux deux dates, nous ont servis ensuite à classer ces ligneux en trois classes; arbustes, petits arbres et grands arbres, après avoir défini visuellement les caractéristiques de chacune de ces classes.

Ces données ponctuelles ont été ensuite croisées avec l'occupation du sol aux deux dates.

Puis nous avons calculé à chaque date des densités de ligneux par hectare pour les trois classes et pour chaque entité d'occupation du sol à partir d'un carroyage inscrit dans le même système de projection que les images, et où chaque carreau a été défini avec une résolution de 50m de côté. A partir de là, nous avons pu quantifier l'évolution de ces densités et du nombre de ligneux pour chacune des trois classes et pour chaque entité d'occupation du sol.

Enfin, des fenêtres (fig 3) ont été extraites pour chacune des unités qui s'individualisaient sur ces cartographies, permettant d'affiner la compréhension de la dynamique d'évolution des zones de parcours, des nouveaux terroirs de villages récents, de la dépression périphérique et des zones de contact entre ces unités.

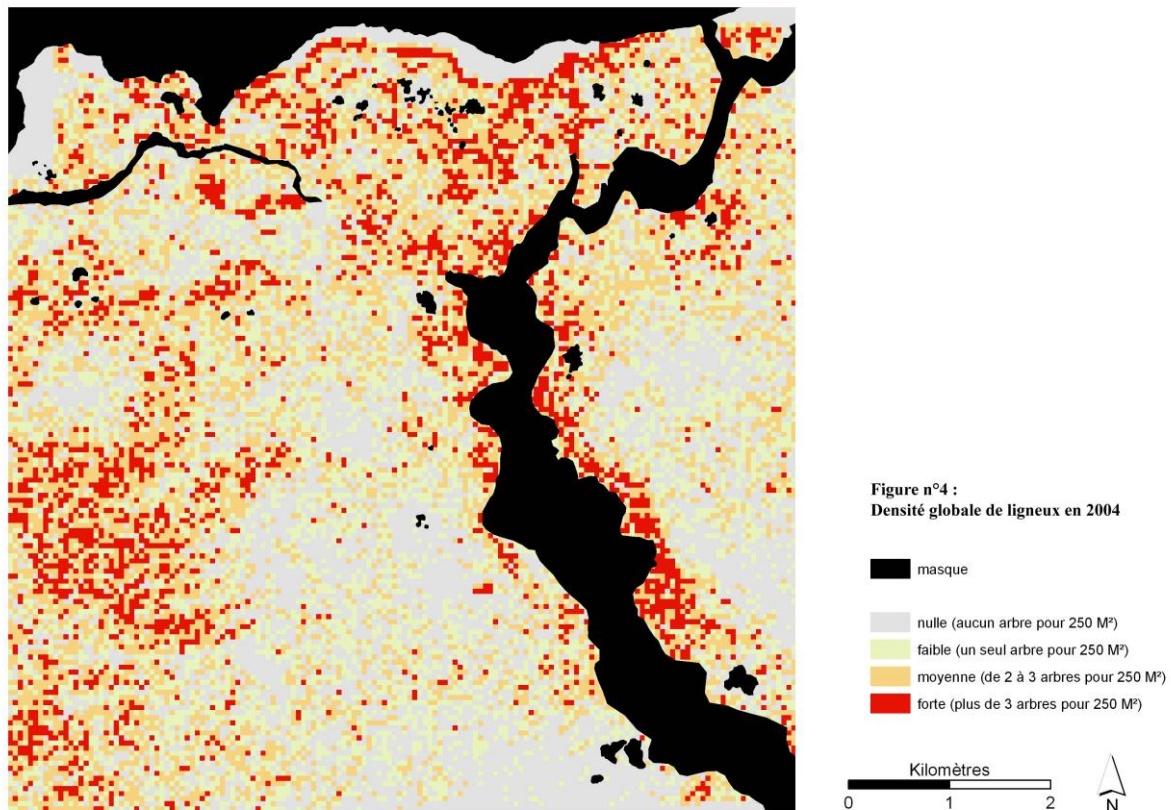
Les entités ripisylve et plateau gréseux n'ont pas été prises en compte pour l'analyse statistique, soit car les ligneux y sont assez difficiles à dénombrer (ripisylve car trop denses), soit parce que quasiment absents (plateau). Ils ont donc été masqués pour les traitements automatiques.

La méthode automatique a été validée en comparant les résultats obtenus avec ceux de la méthode manuelle, la plus fiable mais également la plus longue. La comparaison a porté sur l'ensemble de la zone pour 2004 et sur un site test pour 1952.

## RÉSULTATS

La comparaison des deux méthodes d'extraction des ligneux pour 2004 montre que la méthode automatique génère une sous estimation globale de -7.92% (78 445 ligneux contre 85 114 manuellement), ce qui reste tout à fait acceptable. Par contre, les différences sont beaucoup plus fortes pour les classes de ligneux prises séparément. Les arbustes sont ainsi systématiquement sous estimés avec -36.6% pour la méthode automatique, alors que les petits et les grands arbres sont eux très surestimés avec respectivement +166.37% et +443.77%. Les taux de variation calculés sur un site test pour 1952, sont proches avec +6% pour l'ensemble des ligneux, -34,8% pour les arbustes, +454% pour les petits arbres et +214.3% pour les grands arbres. Dans les deux cas, cela s'explique par les ombres portées associées aux houppiers des ligneux. Le nombre de petits arbres est donc artificiellement augmenté par la prise en compte d'arbustes (qui sont donc sous estimés) et les grands arbres sont également surestimés par la confusion avec des petits arbres associés à leur ombre portée. Mais ces sur et sous-estimations étant grossièrement de même ordre aux deux dates, les cartographies réalisées à partir de ces données restent exploitables. Si la méthode automatique est fiable lorsque l'on travaille sur les grandes tendances, elle nécessite des améliorations pour travailler plus en détail sur les types de ligneux.

*Fig. 4 : Densité globale de ligneux en 2004*



La densité des ligneux en 2004 (fig 4) montre une nette individualisation d'unités à forte densité en périphérie de la vallée du Guringin, dans la dépression périphérique et dans la partie ouest de la zone dunaire alors que la terrasse principale du marigot et la partie sud de la zone sableuse sont marquées par de très faibles densités.

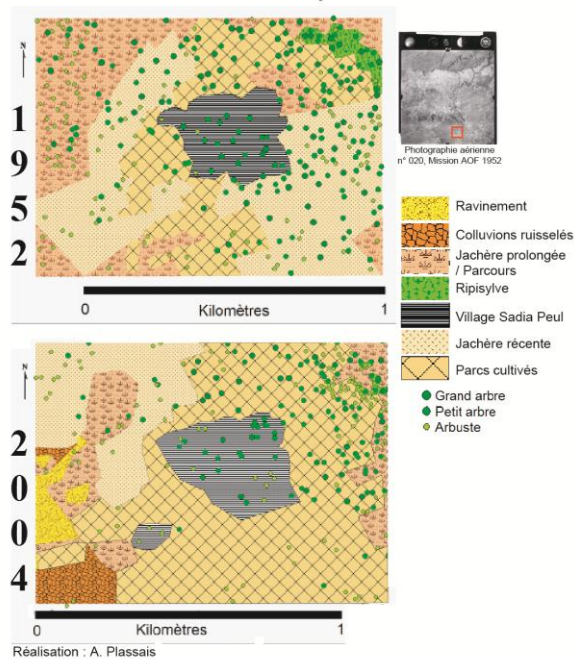
Par ailleurs, le recensement des ligneux montre que ce sont les arbustes qui dominent dans cette région de plaine (88 384 en 2004), suivis par les petits arbres (15 327 en 2004) et les grands arbres (1 717 en 2004), mais là aussi la répartition spatiale n'est pas homogène. Les fortes densités des trois types de ligneux en périphérie proche de la vallée contrastent avec les faibles densités de la périphérie plus lointaine. La dépression périphérique est également caractérisée par de fortes densités d'arbustes et petits arbres. Les zones à recouvrement sableux localisées à l'extrême ouest sont elles marquées presque exclusivement par les fortes densités d'arbustes, les petits arbres se localisant plutôt au contact avec la dépression périphérique et les grands arbres étant quasiment absents.

Le croisement des couches d'informations d'inventaire des ligneux avec le type d'occupation du sol indique que, après exclusion de la ripisylve où ils sont bien sur particulièrement concentrés, les ligneux se retrouvent majoritairement dans les parcs agroforestiers en nombre (25 117) et en densité (8.09 ligneux/ha). Le nombre de ligneux est également fort dans les zones de parcours et jachères prolongées avec 24 126 individus, mais la densité y est inférieure avec 5.27 ligneux / ha.

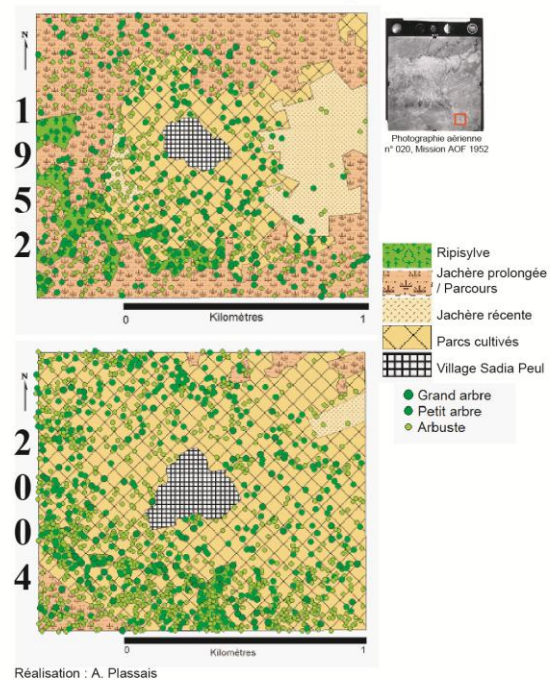
*Fig. 5 : Croisement occupation du sol et type de ligneux de 4 sites du site de Sadia à partir des photos aériennes de 1952 et des images Quickbird de Google Earth du 11-2004*



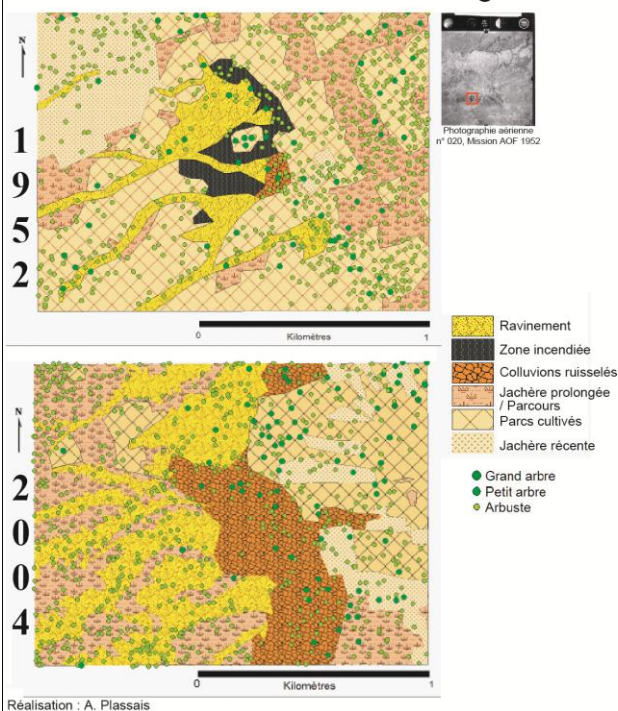
a- Sadia peul



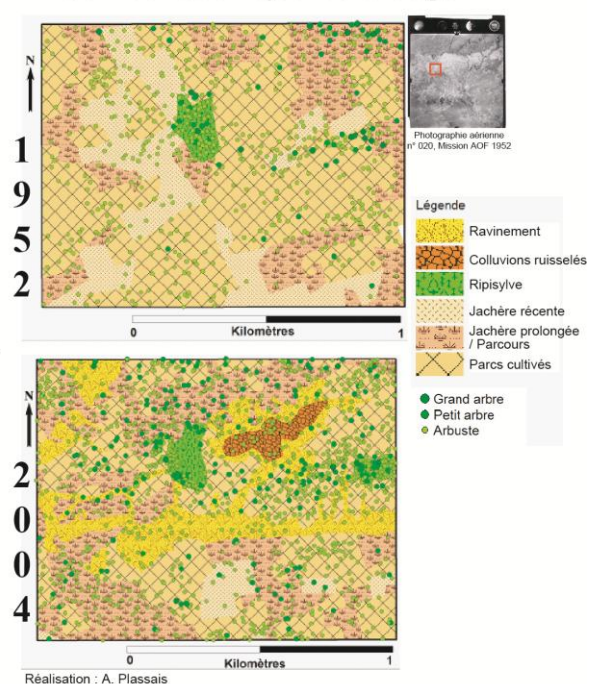
b- Sadia dogon



c- Zone à l'ouest de Diabeli dogon



d- Zone au sud de nouveaux quartiers dogon



Ce croisement décliné par type de ligneux révèle que si globalement le nombre d'arbustes est comparable pour les zones de parcours/jachères prolongées (22 473 individus) et les parcs cultivés (20 856 individus), la densité est elle plus importante dans les parcs cultivés (6.71 ligneux/ha) et la différence s'affirme pour les petits arbres (1.24 ligneux/ha dans les parcs cultivés contre 0.34 ligneux/ha dans les zones de parcours/jachères prolongées) et surtout les grands arbres beaucoup plus denses dans les parcs agroforestiers (0.13 ligneux/ha) que dans les zones de parcours/jachères anciennes (0.04 ligneux / ha), bien que restant modeste dans les deux cas.

Le suivi diachronique de ces données indique une évolution rapide depuis 1952. Mais là encore, si il y a une diminution globale des ligneux de -39.9% depuis 1952 (26 636 à 22 648 en 2004), les suivis

diachroniques de l'occupation du sol et de la couverture de ligneux indiquent des évolutions spatiales contrastées (fig 5).

Le site de Sadia peul (fig 5a) montre une diminution globale des ligneux entre 1952 et 2004 passés de 309 à 220 individus (-28.8%) et de leur densité (de 3,5 à 2,54 ligneux/ha). Par contre la densité en arbustes a nettement augmenté, spécifiquement dans les parcs cultivés où elle a été multipliée par deux. L'emprise de ces parcs cultivés s'est d'ailleurs nettement accrue en auréole autour du village en champs désormais permanents.

On note aussi un doublement du nombre global de ligneux (5,3 à 9,58 ligneux/ha) sur le site de Sadia dogon (fig 5b) et particulièrement celui de la densité des arbustes. Par contre les grands arbres diminuent dans les parcs cultivés. Là encore, les parcs cultivés ont connu une forte extension passés de 30,6% à 88% de la surface totale, corrélativement au recul des jachères.

Cet accroissement du nombre et de la densité des ligneux est particulièrement spectaculaire dans les zones de parcours au sud-ouest où la densité des arbustes a augmenté de 30 à 80% (+198% en nombre) et jusqu'à 30% pour les petits arbres (fig 6 et 7) même si globalement leur nombre a diminué (-59%). Par contre les grands arbres y sont eux en fort recul (fig 8) avec une diminution de densité de plus de 50% (-99% en nombre).

Lorsque l'on s'éloigne des villages dans ces zones de parcours, les tendances s'inversent avec une diminution des arbustes (-84%) et une augmentation des petits arbres (+ 86%) et des grands arbres (de 11 à 576 individus).

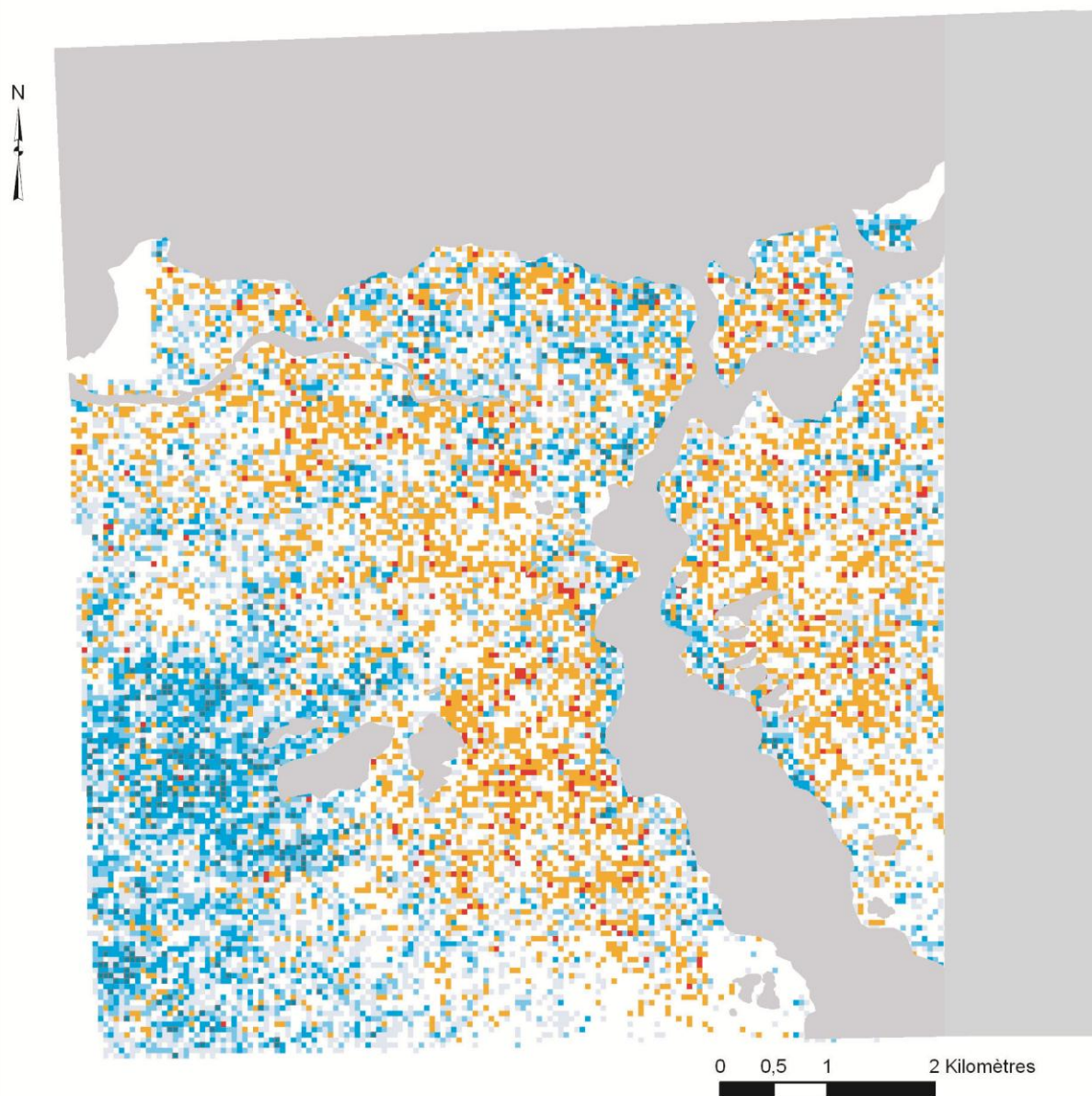
Par contre de part et d'autre de la ripisylve du Guringin on note un très fort déclin de la couverture ligneuse dans son ensemble ; sur la terrasse principale du marigot en rive droite, il est de -72% sur le terroir de Diabéli dogon et -61% sur celui de Diabéli peul, tous deux villages récents installés depuis les années 50. Cette diminution concerne les petits arbres (-76% pour Diabéli dogon et -83% pour Diabéli peul) et les grands arbres (Diabéli dogon -91%, Diabéli peul -92%), mais également les arbustes en recul de 56% pour Diabéli dogon et 12% pour Diabéli peul. En rive gauche dans la zone dunaire, le recul est de même ordre avec - 60% pour la couverture globale, une très légère augmentation du nombre d'arbustes (+ 3%) et une forte diminution des petits arbres (-73%) et grands arbres (- 94%).

Les formations ligneuses de la ripisylve montrent elles aussi un recul de 14 % de leur surface globale passée de 225,26 ha en 1952 à 197,6 ha en 2004. Elle est aussi nettement moins dense et plus discontinue en 2004. Ce recul est plus ou moins accentué selon la localisation et ainsi particulièrement fort près de Diabéli Peul et Diabéli Dogon.

La transformation des paysages résulte également du développement d'un intense ravinement sur le front des dunes dominant le Guringin et la dépression périphérique et la sédimentation des formations superficielles ravinées en aval (fig 3acd). Les deux sites localisés à l'ouest de Diabéli dogon (fig 3c), village créé après les années 1950, et au sud de nouveaux quartiers dogon (fig 3d), montrent ainsi des processus d'érosion croissants obligeant à l'abandon de certaines zones cultivées dans les années 1950 et qui sont désormais en recul, et associé à un embuissonnement important.

*Fig. 6. Evolution de la couverture ligneuse. Classe arbustes 1952-2004*



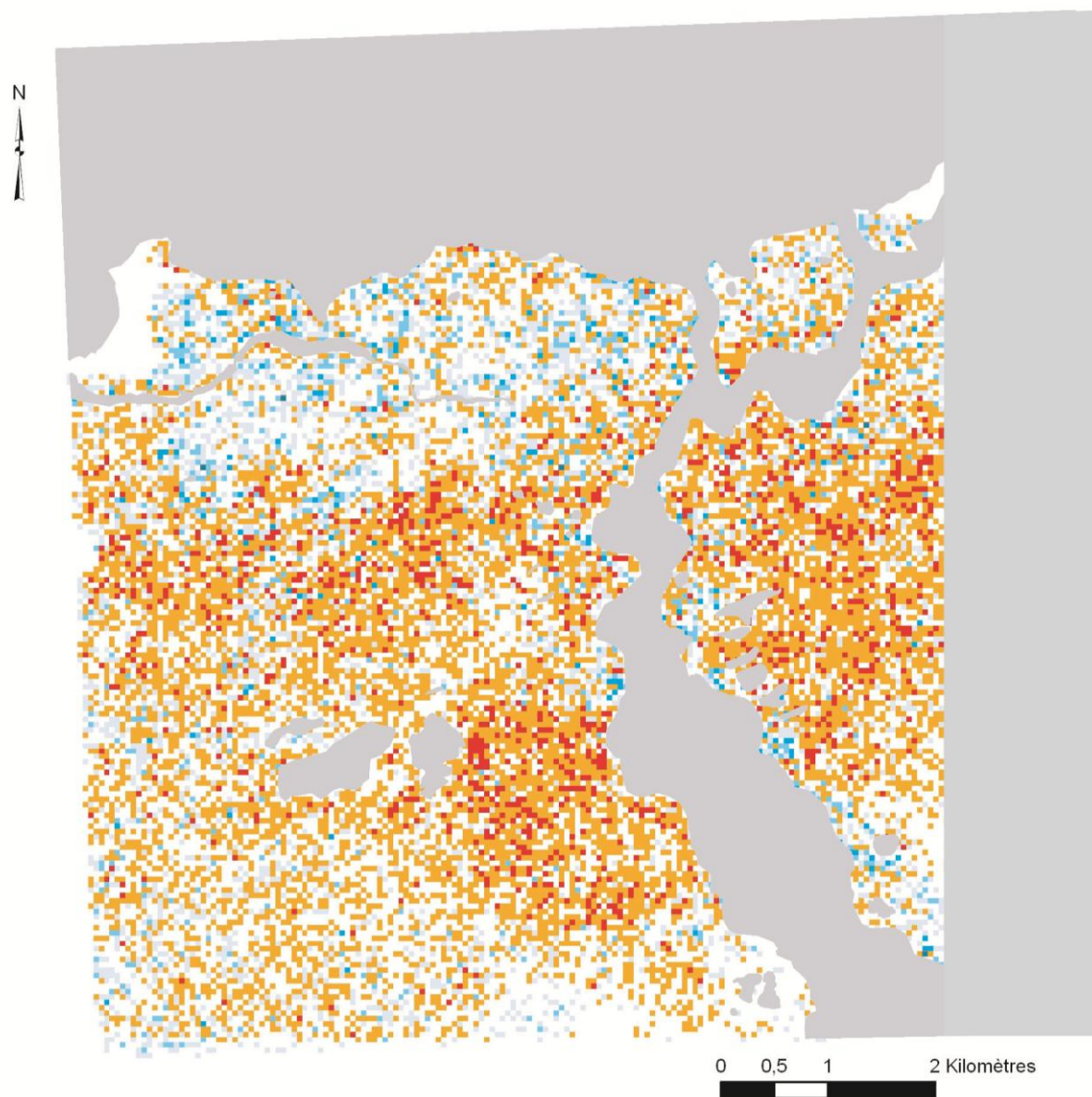


### Evolution de la couverture ligneuse entre 1952 et 2004

- Absence de données
- Forte diminution du peuplement ligneux (-80%)
- Faible diminution du peuplement ligneux (-50%)
- Pas d'évolution
- Très faible augmentation du peuplement ligneux (10%)
- Faible augmentation du peuplement ligneux (30%)
- Forte augmentation du peuplement ligneux (60%)
- Très forte augmentation du peuplement ligneux (80%)

*Fig. 7. Evolution de la couverture ligneuse. Classe petits arbres 1952-2004*

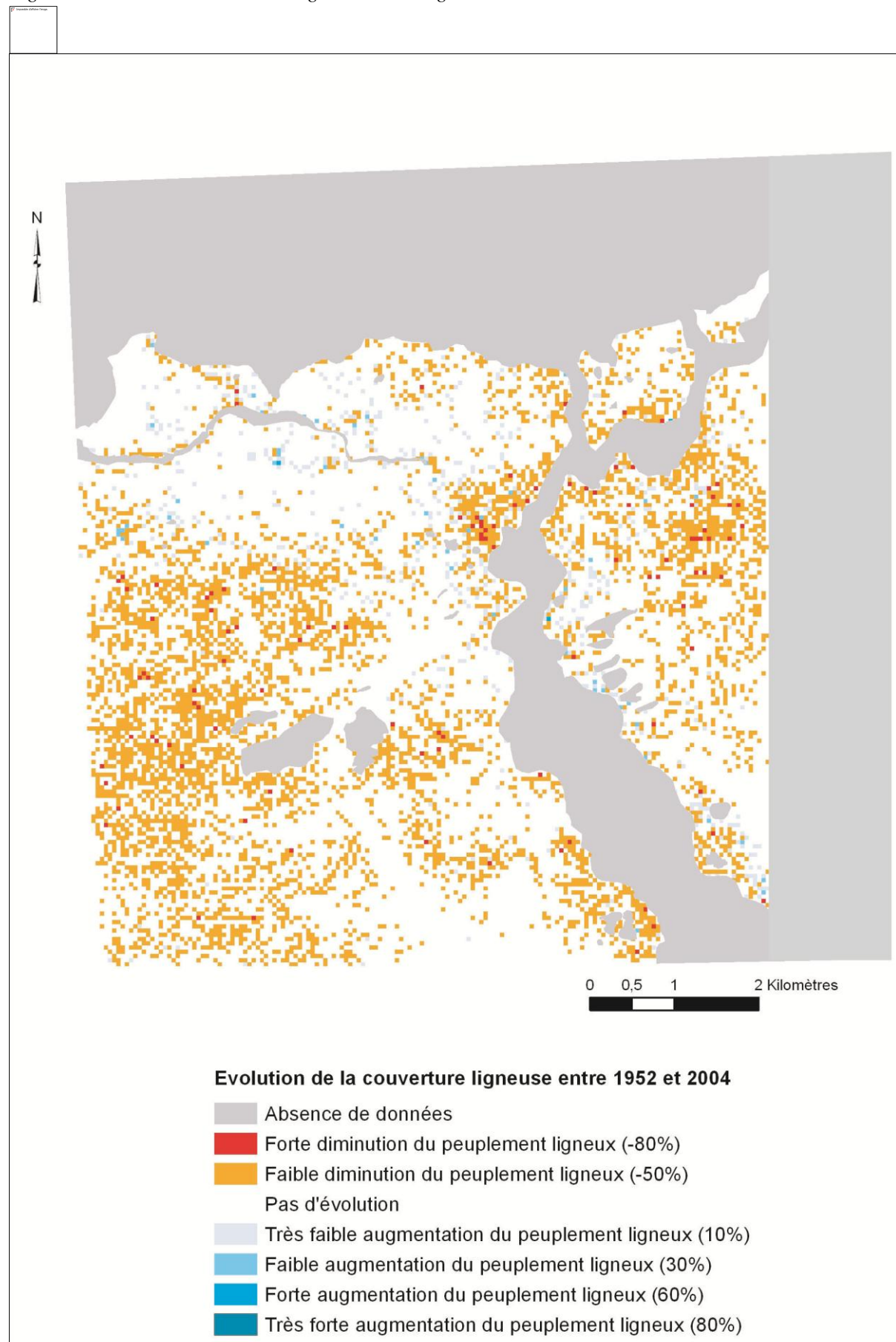




### Evolution de la couverture ligneuse entre 1952 et 2004

- Absence de données
- Forte diminution du peuplement ligneux (-80%)
- Faible diminution du peuplement ligneux (-50%)
- Pas d'évolution
- Très faible augmentation du peuplement ligneux (10%)
- Faible augmentation du peuplement ligneux (30%)
- Forte augmentation du peuplement ligneux (60%)
- Très forte augmentation du peuplement ligneux (80%)

Fig. 8. Evolution de la couverture ligneuse. Classe grands arbres 1952-2004



## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'exemple développé ici sur la région de Sadia, bien que très localisé, est bien représentatif des processus d'évolution à l'œuvre dans le Pays dogon. Les paysages végétaux que l'on y a décrit, production matérielle combinée de la nature et des hommes, viennent s'ancrer sur des périodes longues de plusieurs millénaires. La construction des parcs arborés résulte des pratiques agro-pastorales des populations et des techniques adoptées dans la mise en valeur des terroirs, définissant ainsi selon les besoins et les usages, différents types de parcs. Mais ils connaissent une évolution très rapide sur le court terme, essentiellement dans la deuxième moitié du XXe siècle. Ces transformations résultent de la combinaison de facteurs « naturels » avec particulièrement la sécheresse des années 70-90, et anthropiques à la fois politiques, sociaux et économiques.

Mais la relative stabilité voire l'accroissement localisé de la couverture ligneuse globale de la région de Sadia, particulièrement à proximité des villages et malgré la sécheresse sévère des années 70-90, contredit l'idée reçue largement diffusée d'une dégradation généralisée de ces milieux soudano-sahéliens au cours du XXe siècle. Fréquemment qualifiés de dégradation (ou désertification) dans ces régions, les processus d'évolution actuels de ces paysages nous semblent plutôt relever de la création de nouveaux équilibres dynamiques complexes entre milieux et sociétés, dans le cadre de stratégies d'adaptation et de résilience face aux sécheresses récurrentes et aux rapides et importantes mutations socio-économiques qu'a connu le Pays dogon comme toute l'Afrique de l'ouest dans la deuxième moitié du XXe siècle.

En effet, l'évolution différenciée arbustes/petits arbres (en globale augmentation) et grands arbres/ripisylve (en réduction globale en nombre et en surface) est en réalité significative d'un changement d'agrosystème. Elle révèle une substitution de parcs à *Faidherbia albida*, qui forment avec *Balanites aegyptiaca* et différents Acacias l'essentiel des arbustes et petits arbres, aux parcs anciens composites à karité, néré, ... qui constituent le « fond » des grands arbres, eux-mêmes sélectionnés ou construits par les agrosystèmes antérieurs. Ce processus se réalise dans un contexte d'intensification agricole en lien avec la très forte croissance démographique de la deuxième moitié du XXe siècle en Pays dogon (croissance de la population de 49% entre 1976 et 1998, dont 20% sur la « falaise » et plus de 70% dans la plaine du Séno) déjà caractérisé par de très fortes densités de population (54 hab/km<sup>2</sup> en moyenne sur le plateau en 1998 et 153 hab/km<sup>2</sup> en bordure de falaise), associé à une urbanisation croissante et à la sédentarisation massive des éleveurs nomades dans un contexte politique marqué par la colonisation et la décolonisation et qui ont entraîné des ruptures majeures dans les modes de gestion et d'encadrement des territoires. Le recul assez systématique des jachères mis en évidence, traduit bien cette intensification, *Faidherbia albida* permettant notamment de fixer l'azote et une meilleure régénération des sols dans une stratégie de gestion de la fertilité.

La hiérarchisation du nombre de ligneux, des arbustes dominants aux petits arbres puis grands arbres les moins nombreux, témoigne par ailleurs de la sélection pratiquée dans les champs par les agriculteurs et du dynamisme actuel de ces pratiques agricoles.

Ces conclusions confirment celles de Le Drézen et Ballouche (2008, 2009) à Ounjougou, site du plateau dogon, en lien étroit avec les mutations socio-économiques que connaît le système productif. Face aux besoins croissants en surfaces à cultiver, les terres marginales dédiées jusque là aux parcours, sont progressivement investies pour une mise en valeur agricole comme on le voit clairement sur la terrasse du Guringin et sur les dunes en rive gauche. Associé à la sédentarisation des anciens peuls nomades, à la concentration de la population accrue et des activités, cette réduction des zones de parcours a favorisé il est vrai mais très localement le développement d'un surpâturage et des pressions accrues sur les ligneux par émondage des grands et petits arbres.

La régénération arbustive observée concerne également *Guiera senegalensis*, *Piliostigma* et *Combretum glutinosum*, traduisant alors un enrichissement de terres de culture dégradées ou trop appauvries.

Les autres signes visibles d'évolution des paysages concernent les processus d'érosion éolienne ou hydrique mais ils restent extrêmement localisés sur les fronts de la zone dunaire dominant le marigot ou la dépression périphérique

La télédétection et particulièrement l'approche orientée objet, au-delà de la relative nouveauté des méthodes, a permis de dépasser les classiques approches spectrales mises en œuvre pour étudier les processus d'évolution des formations de savane, et particulièrement le NDVI qui en survalorisant la prise en compte des formations herbacées très réactives aux sécheresses notamment, a probablement participé ces dernières années à orienter les conclusions catastrophistes sur l'évolution de ces milieux. La désertification fréquemment proposée pour caractériser ces processus à l'œuvre ces dernières décennies est ici fortement relativisée.

*Cette étude a été financée par une ANR franco-allemande en SHS et une Action de recherche du Réseau Télédétection de l'AUF et soutien matériel de Planet Action (Spot Image et UNESCO et leurs partenaires (ESRI, ITT, Definiens)).*

## **BIBLIOGRAPHIE**

Aman A., Fofana S. et Keita M., « Télédétection en milieu de savane: problème de la nomenclature lié au changement d'échelle spatiale », *Télédétection*, vol. 1, n°2, 2001, p. 91-101

Ballouche A., « Histoire des paysages végétaux et mémoire des sociétés dans les savanes ouest-africaines ». *Historiens et Géographes*, vol. 381, 2002, p. 379-388.

Boggs GS., "Assessment of SPOT 5 and Quickbird remotely sensed imagery for mapping tree cover in savannas", *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 12, 2010, p. 217-224

Gillanders SN., Coops NC., Wulder MA., Gergel SE. et Nelson T., "Multitemporal remote sensing of landscape dynamics and pattern change: describing natural and anthropogenic trends", *Progress in physical geography*, 35 (5), 2008, p.503-528

Hay GJ. et Castilla G., « Object-based image analysis: strengths, weaknesses, opportunities and threats (SWOT) », 1st International Conference on Object-based Image Analysis (OBIA 2006), The International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, 2006, vol. XXXVI-4/C42, CD ROM

Le Drézen Y., « Dynamiques des paysages de la vallée du Yamé depuis 4000 ans. Contribution à la compréhension d'un géosystème soudano-sahélien (Ounjougou, Pays Dogon, Mali) ». Doctorat géographie, Caen, 2008

Le Drezen Y. et Ballouche A., « Dynamiques récentes des paysages végétaux en domaine soudano-sahélien. L'exemple de la moyenne vallée du Yamé (Ounjougou, Pays Dogon, Mali) », *BAGF-Géographies*, 1, 2009, p. 46-66

Lespez L., Rasse M., Garnier A., Le Drezen Y. et Ballouche A., « Les paléoenvironnements du site de Sadiya. Résultats préliminaires et perspectives », dans Huysecom E. (dir.), *Le Pays dogon et son passé: 12ème année de recherche du programme « Peuplement humain et évolution paléoclimatique en Afrique de l'Ouest »*, Jahresbericht SLSA 2009. Zürich et Vaduz: Fondation Suisse-Liechtenstein pour les recherches archéologiques à l'étranger, 2009, p. 26-34

Pelissier P., « L'arbre dans les paysages agraires de l'Afrique tropicale ». *Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum.*, vol. XVII, n° 3-4, 1980, p. 131-136

Stuart N., Barratt T. et Place C., « Classifying the Neotropical savannas of Belize using remote sensing and ground survey », *Journal of Biogeography*, 33, 2006, p. 476-490

Sturm HJ., « Les parcs agraires : reflet de l'histoire du peuplement ». *Berichte des sonderforschungsbereichs 268*, t. 14, 2000, p. 405-408

Taïbi AN., Gassani J., Elghadi AV., Ballouche A., Moguedet G., Ould Baba ML. et Ould Jiddou M., « Diagnostic de la dynamique des ressources hydriques de surface et des processus de « désertification » du lac d'Aleg et son bassin versant (Brakna, Mauritanie) par télédétection multidate », *Télédétection*, vol. 5, n°1-2-3, 2005, p. 35-45

Tanser FC. et Palmer AR., « The application of a remotely-sensed diversity index to monitor degradation patterns in a semi-arid heterogeneous, South African landscape », *Journal of arid environment*, 43, 1999, p.477-484